



*Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology*

*Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*

ISSN 1012-2354

Cilt (Volume): 29, Sayı (Issue): 1, Ocak/January-2013

<http://fbe.erciyes.edu.tr/>



## Diferansiyel Gelişim Algoritmasının Yasak İşletim Bölgesi Ekonomik Güç Dağıtım Problemine Uygulanması

Serdar ÖZYÖN<sup>1</sup>, Celal YAŞAR<sup>2</sup>, Hasan TEMURTAŞ<sup>3</sup>, Gıyasettin ÖZCAN<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Kütahya

<sup>3,4</sup>Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Kütahya

### Anahtar

#### Kelimeler:

Ekonomik güç dağıtım, Yasak işletim bölgeleri, Artırma/azaltma sınırları, Diferansiyel gelişim algoritması.

### ÖZET

Ekonomik güç dağıtım, güç sistemlerinin planlanması ve işletimlerdeki en temel problemlerden biridir. Bu tür problemler sistem kısıtları altında toplam yakıt maliyetinin minimize edildikleri optimizasyon problemleridir. Bu çalışmada, generatörlerin artırma/azaltma sınırlarını dikkate alan yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım problemi diferansiyel gelişim algoritması (DGA) ile çözülmüştür. Problemin çözümünde kullanılan iletim hatları kayıpları B-kayıp matrisi ile hesaplanmıştır. DGA metodu literatürdeki 6 ve 15 generatörden oluşan iki farklı test sistemine uygulanmıştır. Elde edilen optimal çözüm değerleri, literatürde bulunan optimal sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

## The Application of Differential Evolution Algorithm for the Economic Power Dispatch with Prohibited Operating Zone

### Key Words:

Economic power dispatch, Prohibited operating zones, Ramp rate limits, Differential evolution algorithm.

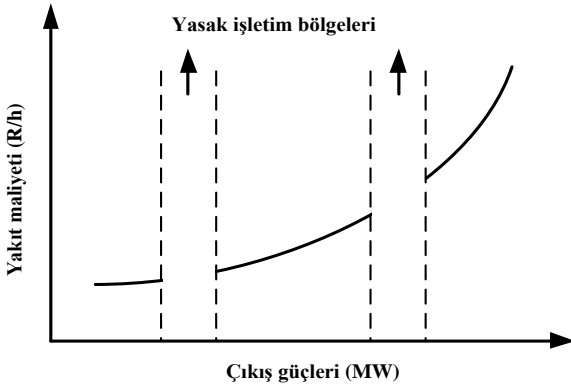
### ABSTRACT

Economic power dispatch is one of the most leading problems in the power system planning and operation. This kind of problems in which total fuel cost is minimized under system limits. In this study, prohibited operating zone economic power dispatch problem which considers ramp rate limit, has been solved by differential evolution algorithm (DGA). The transmission line losses used in the solution of the problem have been computed by B-loss matrix. DGA method has been applied to two different test systems in literature which consist of 6 and 15 generators. The attained optimum solution values have been compared with the optimum results in literature and have been discussed.

\*Sorumlu Yazar (Corresponding author) e-posta<sup>1</sup>[serdarozyon@dpu.edu.tr](mailto:serdarozyon@dpu.edu.tr),

## 1. Giriş

Günümüzde yaşamın her alanında ucuz enerjiye olan ihtiyacın giderek artmasıyla ekonomik güç dağıtım problemleri, güç sistemlerinin işletimlerinde en önemli konulardan biri haline gelmiştir. Ekonomik güç dağıtım problemi sistemin kısıtları altında toplam yakıt maliyeti minimum olacak şekilde sistemdeki mevcut yükün üretim birimleri tarafından karşılanabilmesi olarak bilinmektedir. Generatörlere ait artırma/azaltma sınırları ve yasak işletim bölgeleri gibi ilave kısıtlar ekonomik güç dağıtım problemlerini daha fazla gerçek problemlere yaklaştırmaktadır. Bu şekilde ilave kısıtları içeren optimizasyon problemi daha fazla kısıtlı lineer olmayan optimizasyon problemine dönüşmektedir. Ekonomik güç dağıtım problemlerinde yer alan kısıtlardan biri olan yasak işletim bölgeleri, sistemdeki üretim birimlerinin çeşitli nedenlerden dolayı bazı güç değerleri arasında üretim yapamaması şeklinde tanımlanmaktadır. Sistemdeki üretim birimleri mevcut yükü bu aralıklar dışında bulunan değerlerle üretim yaparak karşılamak zorundadırlar. Yasak işletim Günümüzde yaşamın her alanında ucuz enerjiye olan ihtiyacın giderek artmasıyla ekonomik güç dağıtım problemleri, güç sistemlerinin işletimlerinde en önemli konulardan biri haline gelmiştir. Ekonomik güç dağıtım problemi sistemin kısıtları altında toplam yakıt maliyeti minimum olacak şekilde sistemdeki mevcut yükün üretim birimleri tarafından karşılanabilmesi olarak bilinmektedir. Generatörlere ait artırma/azaltma sınırları ve yasak işletim bölgeleri gibi ilave kısıtlar ekonomik güç dağıtım problemlerini daha fazla gerçek problemlere yaklaştırmaktadır. Bu şekilde ilave kısıtları içeren optimizasyon problemi daha fazla kısıtlı lineer olmayan optimizasyon problemine dönüşmektedir. Ekonomik güç dağıtım problemlerinde yer alan kısıtlardan biri olan yasak işletim bölgeleri, sistemdeki üretim birimlerinin çeşitli nedenlerden dolayı bazı güç değerleri arasında üretim yapamaması şeklinde tanımlanmaktadır. Sistemdeki üretim birimleri mevcut yükü bu aralıklar dışında bulunan değerlerle üretim yaparak karşılamak zorundadırlar. Yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım problemi lineer olmayan karakteristiğe sahip ve optimal çözümünün bulunması oldukça zor olan bir problemdir. Bu tür problemlerde, maliyet eğrisi Şekil 1'de görüldüğü gibi kesikli salınımlar şeklinde artmaktadır [1,2].



Şekil 1: Yasak işletim bölgesi yakıt maliyeti fonksiyonu

Literatürde yasak işletim bölgesi lineer olmayan ekonomik güç dağıtım problemleri parçacık sürü optimizasyon ve geliştirilmiş parçacık sürü optimizasyon algoritmalarıyla [1-5], geliştirilmiş bal arısı çiftleşme algoritmasıyla [6], genetik ve geliştirilmiş genetik algoritmalarla [5,7], evrimsel algoritma ve hızlı hesaplamalı evrimsel algoritmayla [8,9,10], karışık tamsayılu kuadratik programlamayla [11], yapay bağışıklık sistemi optimizasyon algoritmasıyla [12], biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritmasıyla [13], benzetim tavlama, tabu ve çoklu tabu arama algoritmalarıyla [14] ve gelişmiş doğrudan arama algoritmasıyla [15] çözülmüştür. Bu çalışmada, yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü için diferansiyel gelişim algoritması (DGA) kullanılmıştır. DGA, işleyiş açısından genetik algoritmaya dayanan popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniğidir.

## 2. Problemin Formülasyonu

Yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü, sistem kısıtları altında toplam yakıt maliyeti minimize edilerek bulunur. Sistemdeki üretim birimlerinin yakıt maliyet eğrisi aşağıdaki denklemde verildiği gibi her bir birim için aktif güç üretiminin 2. derece fonksiyonu olarak alınmıştır [1-8,10-16].

$$\min F_T = \sum_{i=1}^n F_i(P_i) = \sum_{i=1}^n (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i), \quad (R/h) \quad (1)$$

Denklem (1)'de  $P_i$  üretim birimleri tarafından MW cinsinden üretilen gücü,  $F_T$  ise toplam yakıt maliyetini göstermektedir. Kayıplı sistemdeki güç eşitlik kısıtı denklem (2)'deki gibi alınmıştır.

$$\sum_{i=1}^n P_i - P_{yük} - P_{kayıp} = 0 \quad (2)$$

Termik üretim birimlerinin çalışma sınır değerleri denklem (3)'de verilmiştir.

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad (3)$$

Sistemin iletim hatlarında meydana gelen güç kayıpları  $B$  kayıp matrisi ile denklem (4) kullanılarak hesaplanmaktadır [1-7,13-21].

$$P_{kayıp} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i \cdot B_{ij} \cdot P_j + \sum_{i=1}^n B_{0i} \cdot P_i + B_{00} \quad (4)$$

Generatörlerin çıkış güçlerinin ani olarak artırılması ve azaltılması belli sınırlar içerisinde gerçekleşir. Dolayısıyla üretim birimleri bu sınırlar dışındaki herhangi bir çalışma değerine ani olarak azaltılıp yükseltilemez. Bu nedenle sisteme bağlı tüm üretim birimlerinin çalışma değerleri arasındaki geçişler denklem (5)'te verilen artırma/azaltma sınırları tarafından kısıtlanır [2-4,9-14].

$$P_i^0 - P_i \leq DR_i \quad \text{ve} \quad P_i - P_i^0 \leq UR_i \quad (5)$$

Denklemdaki  $P_i^0$   $i$ . üretim biriminin bir önceki adımda ürettiği güç,  $DR_i$  ve  $UR_i$   $i$ . üretim biriminin sırasıyla azaltma ve artırma sınır değerlerini göstermektedirler. Üretim birimlerine ait artırma/azaltma sınır değerleri denklem (3)'te verilen birimlerin çalışma sınır değerlerine uygulandığında denklem (3) aşağıdaki denkleme dönüşür.

$$\max(P_i^{\min}, P_i^0 - DR_i) \leq P_i \leq \min(P_i^{\max}, P_i^0 + UR_i) \quad (6)$$

Yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım problemlerinde Şekil 1'de gösterilen kesikli yakıt maliyet eğrileri kullanılmaktadır. Bu nedenle yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım probleminde denklem (3)'teki üretim birimlerinin çalışma sınır değerleri denklem (7)'de gösterildiği gibi kullanılmaktadır [1-15].

$$P_i \in \begin{cases} P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^l \\ P_{i,j-1}^u \leq P_i \leq P_{i,j}^l \\ P_{i,pz_i}^u \leq P_i \leq P_i^{\max} \end{cases} \quad j = 2, 3, \dots, pz_i \quad (7)$$

Denklemda  $P_{i,j}^u$ ,  $P_{i,j}^l$   $i$ . üretim biriminin MW olarak yasak işletim bölgelerinin sırasıyla alt, üst sınırlarını ve  $pz_i$   $i$ . üretim biriminin yasak işletim bölge sayısını göstermektedir.

### 3. Diferansiyel Gelişim Algoritması ve Algoritmanın Probleme Uygulanması

Price ve Storn tarafından 1995 yılında geliştirilen DGA, işleyiş açısından genetik algoritmaya dayanan popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniğidir. Özellikle sürekli parametrelili problemlerin çözümüne yönelik geliştirilmiştir. Popülasyona dayalı çalışmayıp, tek tek kromozomlar operatörlere tabi tutularak yeni bir birey elde edilmektedir. Bu işlem sırasında mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılmaktadır. Yeni bireyin uygunluğu eskisinden daha iyi ise yeni birey, aksi takdirde eski birey bir sonraki nesile (jenerasyona) aktarılmaktadır [17-24].

DGA'da kullanılan parametreler; popülasyon büyüklüğü  $NP$ , değişken sayısı (gen sayısı)  $D$ , nesil  $(1, 2, 3, \dots, g_{\max})$   $g$ , çaprazlama oranı  $CR$  ve ölçekleme faktörü  $F$  şeklinde gösterilmektedir.

DGA'nın işlem basamakları kodlama ve başlangıç popülasyonunun oluşturulması, mutasyon, çaprazlama, uygunluk fonksiyonunun belirlenmesi, seçim ve algoritmanın durdurulması olarak belirtilebilir.

Başlangıç popülasyonu denklem (8) kullanılarak  $D$  boyutlu kromozomdan meydana gelen  $NP$  adet kadar üretilir [17-24].

$$x_{j,i,g=0} = x_j^{(l)} + rand_j[0,1] \cdot (x_j^{(u)} - x_j^{(l)}) \quad (8)$$

Denklemda  $x_{j,i,g}$ ,  $g$  neslindeki  $i$  kromozomunun  $j$  parametresini,  $(x_j^{(l)}, x_j^{(u)})$  değişkenlere ait alt ve üst değerleri göstermektedir.

Kromozomun genleri üzerinde rastgele değişikliklerin

yapılması mutasyon olarak tanımlanır ve bu işlem aşağıdaki denklem kullanılarak yapılır [17-24].

$$n_{j,i,g+1} = x_{j,r_1,g} + F \cdot (x_{j,r_2,g} - x_{j,r_3,g}) \quad (9)$$

Denklemda  $n_{j,i,g+1}$ , mutasyon ve çaprazlaştırmaya tabi tutulmuş ara kromozomu göstermektedir. Burada  $F$  genellikle 0~2 arasında değişen bir değer olarak alınmaktadır.

Çaprazlama sonucunda oluşan yeni kromozom  $(u_{i,g+1})$  denklem (10)'dan üretilir [17-24].

$$x_{j,u,g+1} = \begin{cases} x_{j,n,g+1} & \text{eğer } rand[0,1] \leq CR \\ & \text{veya } j = j_{rand} \\ x_{j,i,g} & \text{aksi durumda} \end{cases} \quad (10)$$

Mutasyon ve çaprazlama işleminden sonra yeni nesile ( $g = g + 1$ ) aktarılabacak olan kromozom uygunluk değerine göre belirlenir. Uygunluk fonksiyonu olarak problemin amaç fonksiyonu değeri kullanılır [17-24].

Kromozomlardan uygunluğu yüksek olan kromozom yeni nesile aktarılmak için denklem (11) uygulanarak seçilir [17-24].

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} x_{u,g+1} & \text{eğer } f(x_{u,g+1}) \leq f(x_{i,g+1}) \\ x_{i,g} & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (11)$$

Algoritmanın durdurulması ise belirlenen iterasyon sayısına ( $g = g_{\max}$ ) bağlıdır [17-24].

DGA'nın probleme uygulanmasının işlem basamakları aşağıda açıklanmıştır.

Önce problem için verilen  $P_i^0$  başlangıç, artırma/azaltma sınırları ve üretim birimlerinin minimum ve maksimum çıkış güç değerleri dikkate alınarak denklem (6)'ya ait algoritmadaki değerler güncellenir. Birey kümesi rastgele olarak yeni belirlenen minimum ve maksimum çıkış güç değerleri dikkate alınarak oluşturulur. Belirlenen birey sayısı ( $M$ ) için  $P_i$ 'ler denklem (3)'te verilen eşitliği sağlayacak uygun değerlerle rastgele şekilde aşağıdaki denklem kullanılarak bulunur [20, 21].

$$P_i = P_i^{\min, \text{güncel}} + rand[0,1] \times (P_i^{\max, \text{güncel}} - P_i^{\min, \text{güncel}}) \quad (12)$$

Denklemda  $P_i^{\min, \text{güncel}} = \max(P_i^{\min}, P_i^0 - DR_i)$ ,  $P_i^{\max, \text{güncel}} = \min(P_i^{\max}, P_i^0 + UR_i)$   $i$ . üretim biriminin denklem (6)'ya göre güncellenen sırasıyla minimum, maksimum çıkış güç değerleridir.

Denklemda (2)'de verilen aktif güç denge kısıtını sağlamak için bireylerin popülasyonunu oluşturmak çok önemlidir. Aktif güç eşitlik kısıtının sağlanması için üretim gücü  $P_l$  olan  $l$ . bağımlı generatör rastgele olarak seçilir. Bağımlı generatör gücü  $P_l^{\text{eski}}$ 'nin değeri başlangıç durumunda  $P_{kayıp}^{\text{eski}} = P_{kayıp}^{\text{ilk}} = 0$  alınarak denklem(13)'ten hesaplanır [20, 21].

$$P_l^{\text{eski}} = P_{\text{yük}} + P_{\text{kayıp}} - \sum_{i=1, i \neq l}^n P_i \quad (13)$$

$P_l^{\text{eski}}$ 'ninde bulunmasıyla denklem (4)'ten  $P_{kayıp}^{\text{yeni}}$  hesaplanır. Buna göre  $P_l^{\text{yeni}}$ 'nin değeri aşağıdaki eşitlikten tekrar hesaplanır.

$$P_i^{yeni} = P_i^{eski} + P_{kayıp}^{yeni} - P_{kayıp}^{eski} \quad (14)$$

Bu işlemin sonucu denklem (15)'ten kontrol edilir ve *Hata* tolerans değerinin altında olduğunda denklem (3) eşitliği de sağlanmış olur.

$$Hata = \left| P_{kayıp}^{yeni} - P_{kayıp}^{eski} \right|, \quad Hata \leq TOL_{hata} \quad (15)$$

Bu durumda elde edilen  $P_i^{yeni}$  değerinin denklem (6) kısıtını sağlayıp sağlamadığına bakılır. Eğer sağlıyorsa işleme devam edilir, sağlamıyorsa denklem (12) eşitliğine dönülerek rastgele atama işlemi yeniden yapılır. Mutasyon işlemine gelince denklem (9)'da tanımlanan salınan bireyler üretilir. Üretilen bu bireylerin önerdiği güç değerleri, artırma/azaltma sınırlarına göre üretim birimlerinin minimum ve maksimum çıkış güç değerleri denklem (6)'ya göre tekrar güncellenir. Bu işlem her iterasyondan önce tekrarlanarak üretim birimlerinin artırma/azaltma sınırları dışında değişmesi engellenir. Denklem (7)'deki eşitliği sağlamayan bireylerin herhangi elemanı aşağıdaki denkleme göre belirlenen sınır değerlere çekilir [20, 21].

$$P_i = \begin{cases} P_i^{\min} & \text{eğer } P_i < P_i^{\min} \\ P_{i,j}^l & \text{eğer } P_{i,j}^l > P_i << P_{i,pz_j}^u \\ P_{i,pz_j}^u & \text{eğer } P_{i,j}^l >> P_i < P_{i,pz_j}^u \\ P_i^{\max} & \text{eğer } P_i > P_i^{\max} \end{cases} \quad j = 2, \dots, pz_j \quad (16)$$

Popülasyona, mutasyon işleminden sonra çaprazlama işlemi uygulanır. Salınan bireyler ve yeni bireyler denklem (10)'a göre belirlenir. Değerlendirme ve seçim bölümünde ise en iyi uyumu sağlayan birey denklem (11)'e göre seçilir

Bu çalışmada denklem (1)'deki toplam yakıt maliyet fonksiyonu uygunluk fonksiyonu olarak tanımlanır. Tüm iterasyonlarda tüm bireylerin minimum uygunluk değerleri hesaplanır. İçlerinde en uygun fonksiyon değerine sahip çözüm en uygun çözüm olarak alınır [20, 21]. Durma kriteri olarak maksimum iterasyon sayısı belirlendiğinden kriter sağlandığında en son elde edilen çözümün önerdiği güç üretim değerleri optimal çözüm değerleri olarak alınır ve iterasyon durdurulur. Bu çalışmada yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü için kullanılan DGA ile MATLAB R2010a'da programı geliştirilmiş ve program AMD 64 X2 Dual Core 2.1 GHz işlemcili ve 4 GB RAM bellekli bilgisayarda çalıştırılmıştır.

#### 4. Örnek Problem Çözümleri

DGA, 6 generatörlü test sistemine 1263 MW ve 15 generatörlü test sistemine 2630 MW yük talepleri için uygulanmıştır. Çalışmada DGA parametreleri; popülasyon büyüklüğü 25, çaprazlama oranı 0,8, ölçekleme faktörü 0,5, iterasyon sayısı 300, ayrıca denklem (14)'teki hata toleransı  $TOL_{hata} = 1 \times 10^{-6}$  MW olarak alınmıştır.

##### 4.1. Test Sistemi-I: 6 generatörlü sistem

DGA ile 6 generatörlü test sistemi 1263 MW yük talebi için çözülmüştür. Problemden kullanılan yakıt maliyet fonksiyonu katsayıları, artırma/azaltma ve aktif güç üretim sınırları Tablo 1'de, enerji iletim hatlarının kayıplarının hesaplanmasında kullanılan B kayıp matrisi değerleri Tablo 2'de ve yasak işletim bölgeleri Tablo 3'te verilmiştir [1,5,14].

**Tablo 1.** Üretim birimlerinin maliyet katsayıları, artırma/azaltma ve aktif güç üretim sınırları

Bara No(i)	$a_i$	$b_i$	$c_i$	$UR_i$ (MW/h)	$DR_i$ (MW/h)	$P_i^0$ (MW)	$P_i^{\min}$ (MW)	$P_i^{\max}$ (MW)
1	0,0070	7,0	240	80	120	440	100	500
2	0,0095	10,0	200	50	90	170	50	200
3	0,0090	8,5	220	65	100	200	80	300
4	0,0090	11,0	200	50	90	150	50	150
5	0,0080	10,5	220	50	90	190	50	200
6	0,0075	12,0	190	50	90	110	50	120

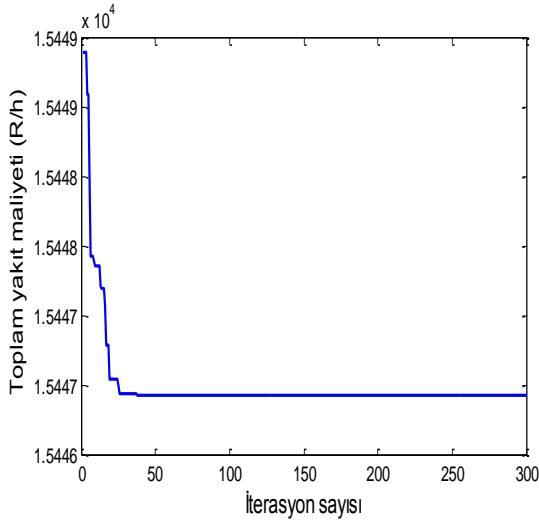
**Tablo 2.** B kayıp matrisi değerleri

B-Katsayıları						
$[B] = 0,001 *$	1,7	1,2	0,7	-0,1	-0,5	-0,2
	1,2	1,4	0,9	0,1	-0,6	-0,1
	0,7	0,9	3,1	0,0	-1,0	-0,6
	-0,1	0,1	0,0	2,4	-0,6	-0,8
	-0,5	-0,6	-1,0	-0,6	12,9	-0,2
	-0,2	-0,1	-0,6	-0,8	-0,2	15,0
	$[B_0] = 0,001 * [-0,3908$	$-0,1297$	$0,7047$	$0,0591$	$0,2161$	$-0,6635]$
$[B_{00}] = 0,0056$						

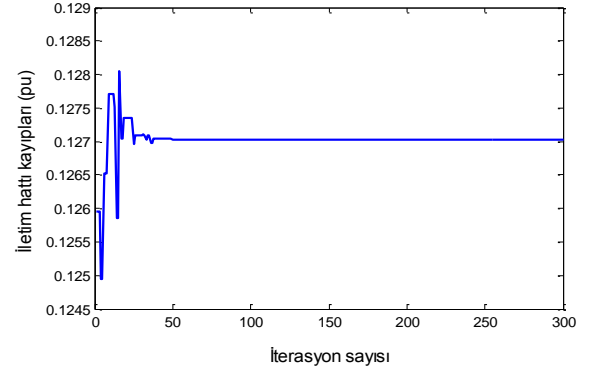
**Tablo 3.** Yasak işletim bölgeleri

Bara No(i)	Bölge-I	Bölge-II
1	[210,240]	[350,380]
2	[90,110]	[140,160]
3	[150,170]	[210,240]
4	[80,90]	[110,120]
5	[90,110]	[140,150]

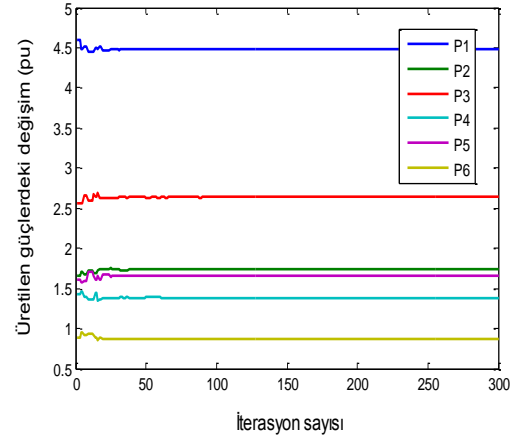
Tablo 3'ten görüldüğü gibi 6 generatörlü test sisteminde tüm mevcut generatörlere ait iki adet bölge bulunmaktadır. Bu bölgeler literatürde yasak işletim bölgeleri olarak bilinmektedir. Örneğin 1 nolu baraya bağlı üretim biriminin 210 ile 250 MW ve 350 ile 380 MW arası üretim yapması yasaklanmıştır. Yani, problemin optimal çözümü bu aralıklarda bulunursa, bu çözümler kabul edilebilir ve uygun çözümler olmayacaktır. Benzer durum diğer üretim birimleri içinde söylenebilir. DGA'nın 6 generatörlü test sistemine uygulanmasından elde edilen toplam yakıt maliyeti değerlerinin, iletim hattı kayıplarının ve generatörlerin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 2, 3 ve 4'te verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde toplam yakıt maliyetinin yaklaşık 31. iterasyonda minimum maliyet değerini (15446,429 R/h) yakaladığı görülmektedir. Şekil 3'te verilen iletim hatlarındaki güç kaybının değişimi ise yaklaşık 50. iterasyondan sonra sabitlenmiş ve 12,7032 MW değerine oturmuştur. Şekil 4'te verilen generatör çıkış güçlerinin  $P_6$ 'nın 19.,  $P_5$ 'in 26.,  $P_1$ 'in 31.,  $P_2$ 'nin 39.,  $P_4$ 'ün 61.,  $P_3$ 'ün 90. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 19. iterasyon ile 90. iterasyonlar arasında yakalanmıştır. Sisteme ait yakıt maliyet fonksiyonunun 31. ve iletim hattı kayıplarının 50. iterasyondan sonra değişmeden fakat generatörlerin optimal çıkış güçlerinin değiştiği ve en son  $P_3$ 'ün de 90. iterasyondan sonra sabit kaldığı söylenebilir.



Şekil 2. Toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi



Şekil 3. İletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi



Şekil 4. Üretilen güçlerin iterasyonlara göre değişimi

Test sistemi için elde edilen optimal çözümler koyu olarak Tablo 4'te literatürdeki sonuçlarla birlikte verilmiştir. DGA ile 6 generatörlü test sistemin çözümü yaklaşık 1,003 sn sürmüştür.

Tablo 4 incelendiğinde 6 generatörlü test sistemi için DGA ile elde edilen toplam yakıt maliyetinin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırıldığında genetik algoritma (GA), benzetim tavlama (SA), çoklu tabu arama (MTS), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve yeni parçacık sürü optimizasyonu (NPSO) ile elde edilen değerlerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca DGA ile elde edilen toplam yakıt maliyetinin yeni adaptif parçacık sürü optimizasyonu (NAPSO) ve geliştirilmiş parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) elde edilen değerlerine ise yakınsadığı görülmektedir.

Tablo 4. Test sistemi için literatürdeki sonuçlar ve DGA ile elde edilen optimal çözüm değerleri

Bara No(i)	MPSO [2]	NAPSO [1]	PSO [5]	GA [5]	SA [14]	TS [14]	MTS [14]	DGA
$P_1$ (MW)	446,4869	446,4232	447,4970	474,8066	478,1258	459,0753	448,1287	<b>447,7630</b>
$P_2$ (MW)	168,6612	172,6080	173,3221	178,6363	163,0249	185,0675	172,8082	<b>173,3930</b>
$P_3$ (MW)	265,0000	262,6183	263,4745	262,2089	261,7143	264,2094	262,5932	<b>263,5040</b>
$P_4$ (MW)	139,4927	142,7752	139,0594	134,2826	125,7665	138,122	136,9605	<b>138,6840</b>
$P_5$ (MW)	164,0036	164,6650	165,4761	151,9039	153,7056	154,4716	168,2031	<b>165,4080</b>
$P_6$ (MW)	91,7465	86,3230	87,1280	74,1812	93,7965	74,9900	87,3304	<b>86,9500</b>
$\sum P_i$ (MW)	1275,3911	1275,4131	1276,0100	1276,0300	1276,1339	1275,9400	1276,0232	<b>1275,7032</b>
$P_{kayıp}$ (MW)	12,3736	12,4131	12,9584	13,0217	13,1317	12,9422	13,0205	<b>12,7032</b>
$F_{toplam}$ (R/h)	15443,0925	15443,7656	15450,0000	15459,0000	15461,1000	15454,89	15450,0600	<b>15446,4290</b>



#### 4.2. Test Sistemi-II: 15 generatörlü sistem

DGA ile 15 generatörlü test sistemi 2630 MW yük talebi için çözülmüştür. Test sistemi için kullanılan yasak işletim bölgeleri Tablo 5'te, yakıt maliyet fonksiyonu katsayıları, artırma/azaltma ve aktif güç üretim sınırları Tablo 6'da ve enerji iletim hatlarının kayıplarının hesaplanmasında kullanılan B kayıp matrisi değerleri Tablo 7'de verilmiştir [5,6,14].

Tablo 5'ten görüldüğü gibi 15 generatörlü test sisteminde 2, 5, 6 nolu baralara bağlı generatörlere ait 3 ve 12 nolu baraya bağlı generatöre ait 2 adet yasak işletim bölgesi bulunmaktadır. Bu durumda problemin kabul edilebilir ve uygun optimal çözümü bu aralıkların dışında bulunmalıdır.

Tablo 5. Yasak işletim bölgeleri

Bara No(i)	Bölge-I	Bölge-II	Bölge-III
2	[185,225]	[305,335]	[420,450]
5	[180,200]	[305,335]	[390,420]
6	[230,255]	[365,395]	[430,455]
12	[30,40]	[55,65]	-

DGA'nın 15 generatörlü test sistemine uygulanmasından elde edilen toplam yakıt maliyeti değerlerinin, iletim hattı kayıplarının ve generatörlerin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 5, 6 ve 7'de verilmiştir Test sistemi için elde edilen optimal çözüm değerleri koyu olarak Tablo 8'de literatürdeki sonuçlarla birlikte verilmiştir. 15 generatörlü test sistemin DGA ile optimal çözümü 2,663 sn'de tamamlanmıştır

Tablo 6. Üretim birimlerinin maliyet katsayıları, artırma/azaltma ve aktif güç üretim sınırları

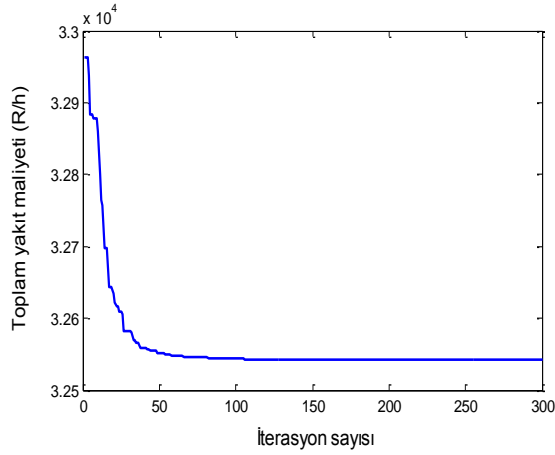
Bara No(i)	$a_i$	$b_i$	$c_i$	$UR_i$ (MW/h)	$DR_i$ (MW/h)	$P_i^0$ (MW)	$P_i^{\min}$ (MW)	$P_i^{\max}$ (MW)
1	0,000299	10,1	671	80	120	400	150	455
2	0,000183	10,2	574	80	120	300	150	455
3	0,001126	8,8	374	130	130	105	20	130
4	0,001126	8,8	374	130	130	100	20	130
5	0,000205	10,4	461	80	120	90	150	470
6	0,000301	10,1	630	80	120	400	135	460
7	0,000364	9,8	548	80	120	350	135	465
8	0,000338	11,2	227	65	100	95	60	300
9	0,000807	11,2	173	60	100	105	25	162
10	0,001203	10,7	175	60	100	110	25	160
11	0,003586	10,2	186	80	80	60	20	80
12	0,005513	9,9	230	80	80	40	20	80
13	0,000371	13,1	225	80	80	30	25	85
14	0,001929	12,1	309	55	55	20	15	55
15	0,004447	12,4	323	55	55	20	15	55

Tablo 7. B kayıp matrisi değerleri

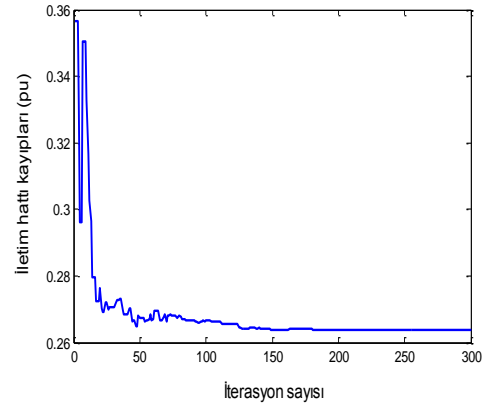
Bara No(i)	$a_i$	$b_i$	$c_i$	$UR_i$ (MW/h)	$DR_i$ (MW/h)	$P_i^0$ (MW)	$P_i^{\min}$ (MW)	$P_i^{\max}$ (MW)
1	0,000299	10,1	671	80	120	400	150	455
2	0,000183	10,2	574	80	120	300	150	455
3	0,001126	8,8	374	130	130	105	20	130
4	0,001126	8,8	374	130	130	100	20	130
5	0,000205	10,4	461	80	120	90	150	470
6	0,000301	10,1	630	80	120	400	135	460
7	0,000364	9,8	548	80	120	350	135	465
8	0,000338	11,2	227	65	100	95	60	300
9	0,000807	11,2	173	60	100	105	25	162
10	0,001203	10,7	175	60	100	110	25	160
11	0,003586	10,2	186	80	80	60	20	80
12	0,005513	9,9	230	80	80	40	20	80
13	0,000371	13,1	225	80	80	30	25	85
14	0,001929	12,1	309	55	55	20	15	55
15	0,004447	12,4	323	55	55	20	15	55

Tablo 7. B kayıp matrisi değerleri

B-Katsayıları															
1,4	1,2	0,7	-0,1	-0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,5	-0,3	-0,2	0,4	0,3	-0,1	
1,2	1,5	1,3	0,0	-0,5	-0,2	0,0	0,1	-0,2	-0,4	-0,4	0,0	0,4	1,0	-0,2	
0,7	1,3	7,6	-0,1	-1,3	-0,9	-0,1	0,0	-0,8	-1,2	-1,7	0,0	-2,6	-11,1	-2,8	
-0,1	0,0	-0,1	3,4	-0,7	-0,4	1,1	5,0	2,9	3,2	-1,1	0,0	0,1	0,1	-2,6	
-0,3	-0,5	-1,3	-0,7	9,0	1,4	-0,3	-1,2	-1,0	-1,3	0,7	-0,2	-0,2	-2,4	-0,3	
-0,1	-0,2	-0,9	-0,4	1,4	1,6	0,0	-0,6	-0,5	-0,8	1,1	-0,1	-0,2	-1,7	0,3	
-0,1	0,0	-0,1	1,1	-0,3	0,0	1,5	1,7	1,5	0,9	-0,5	0,7	0,0	-0,2	-0,8	
[B] = 0,001 *	-0,1	0,1	0,0	5,0	-1,2	-0,6	1,7	16,8	8,2	7,9	-2,3	-3,6	0,1	0,5	-7,8
-0,3	-0,2	-0,8	2,9	-1,0	-0,5	1,5	8,2	12,9	11,6	-2,1	-2,5	0,7	-1,2	-7,2	
-0,5	-0,4	-1,2	3,2	-1,3	-0,8	0,9	7,9	11,6	20,0	-2,7	-3,4	0,9	-1,1	-8,8	
-0,3	-0,4	-1,7	-1,1	0,7	1,1	-0,5	-2,3	-2,1	-2,7	14,0	0,1	0,4	-3,8	16,8	
-0,2	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,7	-3,6	-2,5	-3,4	0,1	5,4	-0,1	-0,4	2,8	
0,4	0,4	-2,6	0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,1	0,7	0,9	0,4	-0,1	10,3	-10,1	2,8	
0,3	1,0	11,1	0,1	-2,4	1,7	-0,2	0,5	-1,2	-1,1	-3,8	-0,4	-10,1	57,8	-9,4	
-0,1	-0,2	-2,8	-2,6	-0,3	0,3	-0,8	-7,8	-7,2	-8,8	16,8	2,8	2,8	-9,4	128,3	
$[B_0] = 0,001 * [-0,1 \quad -0,2 \quad 2,8 \quad -0,1 \quad 0,1 \quad -0,3 \quad -0,2 \quad -0,2 \quad 0,6 \quad 3,9 \quad -1,7 \quad 0,0 \quad -3,2 \quad 6,7 \quad -6,4]$		$[B_{00}] = 0,0055$													



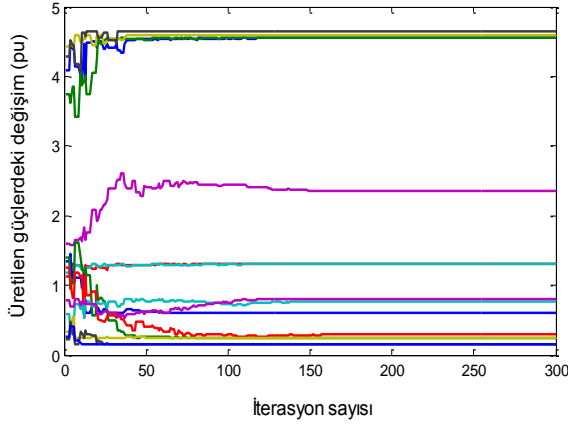
Şekil 5. Toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi



Şekil 6. İletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi

Tablo 8. Test sistemi için literatürdeki sonuçlar ve DGA ile elde edilen optimal çözüm değerleri

Bara No(i)	MPSO [2]	NAPSO [1]	PSO [5]	GA [5]	SA [14]	TS [14]	MTS [14]	DGA
P <sub>1</sub> (MW)	455,0000	454,9999	450,2978	455,0000	453,6646	453,5374	453,9922	454,9999
P <sub>2</sub> (MW)	380,0000	454,9999	440,0000	440,0000	377,6091	371,9761	379,7434	455,0000
P <sub>3</sub> (MW)	130,0000	130,0000	118,1179	119,5719	120,3744	129,7823	130,0000	130,0000
P <sub>4</sub> (MW)	130,0000	130,0000	122,4839	117,9836	126,2668	129,3411	129,9232	130,0000
P <sub>5</sub> (MW)	170,0000	234,2005	270,0000	270,0000	165,3048	169,5950	168,0877	235,5860
P <sub>6</sub> (MW)	460,0000	460,0000	284,0404	324,8959	459,2455	457,9928	460,0000	460,0000
P <sub>7</sub> (MW)	430,0000	464,9999	430,0000	314,1524	422,8619	426,8879	429,2253	465,0000
P <sub>8</sub> (MW)	92,7278	60,0000	151,2743	140,3805	126,4025	95,1680	104,3097	60,0000
P <sub>9</sub> (MW)	43,0282	25,0000	111,3938	113,2752	54,4742	76,8439	35,0358	25,0000
P <sub>10</sub> (MW)	140,1938	30,9939	75,1117	128,6250	149,0879	133,5044	155,8829	29,5896
P <sub>11</sub> (MW)	80,0000	76,7014	50,4559	63,2303	77,9594	68,3087	79,8994	76,2524
P <sub>12</sub> (MW)	80,0000	79,9999	44,6579	44,1564	73,9489	79,6815	79,9037	79,9602
P <sub>13</sub> (MW)	27,6403	25,0000	47,3174	77,2804	25,0022	28,3082	25,0220	25,0000
P <sub>14</sub> (MW)	20,7610	15,0000	37,1838	25,7138	16,0636	17,7661	15,2586	15,0000
P <sub>15</sub> (MW)	22,2724	15,0000	35,0895	34,0248	15,0196	22,8446	15,0796	15,0000
ΣP <sub>1</sub> (MW)	2661,6235	2656,8959	2667,4000	2668,3000	2663,2900	2661,53000	2661,3600	2656,3870
P <sub>kayıp</sub> (MW)	29,9780	26,8959	37,3329	3832499	33,2737	31,4100	31,3523	26,3870
F <sub>toplam</sub> (R/h)	32738,4177	32548,5858	33020,0000	33149,0000	32786,4000	32762,1200	32716,87	32542,7310



Şekil 7. Üretilen güçlerin iterasyonlara göre değişimi

Şekil 7’de verilen generatör çıkış güçlerinin en düşük 11. iterasyonda 1 (15. generatörün çıkış gücü  $P_{15}$ ), 12 ile 50. iterasyon arasında 3, 51 ile 100. iterasyon arasında 5, 101 ile 150. iterasyonlar arasında 5, en yüksek olarak da 158. iterasyonda 1 adet üretim birimi (10. generatörün çıkış gücü  $P_{10}$ ) optimal çalışma değerini yakalamıştır. Dolayısıyla optimal çalışma değerleri 11. iterasyon ile 158. iterasyonlar arasında yakalanmıştır. Sistemin 158. iterasyondan sonra optimal değeri yakaladığı ve generatör çıkış güçlerinin sabit kaldığı söylenebilir. Tablo 8 incelendiğinde ise 15 generatörlü test sistemi için DGA ile elde edilen toplam yakıt maliyetinin literatürdeki bütün sonuçlardan daha iyi olduğu belirtilebilir.

## 5. Sonuçlar

Çalışmada yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü için DGA ile 6 generatörlü test sistemi 1263 MW yük talebi için, 15 generatörlü test sistemi 2630 MW yük talebi için çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 6 baralı örnek sistem için DGA ile elde edilen toplam yakıt maliyetinin GA, SA, MTS, PSO ve NPSO ile elde edilen değerlerden daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca DGA ile elde edilen toplam yakıt maliyetinin NPSO ve MPSO ile elde edilen değerlere yakınsamıştır. 15 baralı sisteme bakıldığında DGA ile elde edilen toplam yakıt maliyeti değeri karşılaştırılması yapılan literatürdeki diğer metotlardan daha iyi bir değerdir.

Örnek sistemlerin yakınsama hızlarına bakıldığında 6 baralı sistem yaklaşık 90. iterasyonda, 15 baralı sistem ise yaklaşık 160. iterasyonda en iyi toplam yakıt maliyeti değerini yakalamıştır. Süre bakımından örnekler incelendiğinde DGA ile 6 generatörlü test sisteminin çözümü yaklaşık 1,003 sn, 15 generatörlü test sisteminin optimal çözümü 2,663 sn’de elde edilmiştir.

DGA basit ve kolay kodlanabilir bir algoritma olup yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım probleminin çözümüne kolayca uygulanabileceği gösterilmiştir. DGA’nın çözüm uzayının çok büyük olduğu durumlarda veya matematiksel yöntemlerin çok uzun zamanda çözüm bulabildiği problemlerde kullanılması daha uygundur.

## Kaynaklar

1. Niknam T., Mojarrad H, D., Meymand H, Z., "Non-smooth economic dispatch computation by fuzzy and self adaptive particle swarm optimization", Applied Soft Computing, Vol.11, pp.2805-2817, 2011.
2. Neyestani M., Farsangi M, M., Nezamabadi-pour H., "A modified particle swarm optimization for economic dispatch with non-smooth cost functions" Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol.23, pp.1121-1126, 2010.
3. Safari A., Shayeghi H., "Iteration particle swarm optimization procedure for economic load dispatch with generator constraints", Expert Systems with Applications, Vol.38, pp.6043-6048, 2011.
4. Selvakumar, A.I., Thanushkodi,K., "A new particle swarm optimization solution to nonconvex economic dispatch problems" IEEE Transaction on Power Systems, Vol.22, No.1, pp.42-51, February 2007.
5. Gaing Z, L., "Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.18, No.3, pp.1187-1195, August 2003.
6. Niknam T., Mojarrad H, D., Meymand H, Z., Firouzi B, B., "A new honey bee mating optimization algorithm for non-smooth economic dispatch", Energy, Vol.36, pp.896-908, 2011.
7. Orero S, O., Irving M, R., "Economic dispatch of generators with prohibited operating zones: A genetic algorithm approach," IEE Proc. Inst. Elect. Eng., Gen., Transm., Distrib., Vol.143, No.6, pp. 529-534, November 1996.
8. Neto J, X, V., Bernert D, L, A., Coelho L, S., "Improved quantum-inspired evolutionary algorithm with diversity information applied to economic dispatch problem with prohibited operating zones", Energy Conversion and Management, Vol.52, pp.8-14, 2011.
9. Somasundaram P., Kuppusamy K., Kumuudini Devi R, P., "Economic dispatch with prohibited operating zones using fast computation evolutionary programming algorithm", Electric Power Systems Research, Vol.70, pp.245-252, 2004.
10. Javabarathi T., Sadasivam G., Ramachandran V., "Evolutionary programming based economic dispatch of generators with prohibited operating zones", Electric Power Systems Research, Vol.52, pp.261-266, 1999.
11. Papageorgiou L, G., Fraga E, S., "A mixed integer quadratic programming formulation for the economic dispatch of generators with prohibited operating zones", Electric Power Systems Research, Vol.77, pp.1292-1296, 2007.
12. anigrahi B, K., Yadav S, R., Agrawal S., Tiwari M, K., "A clonal algorithm to solve economic load dispatch", Electric Power Systems Research, Vol.77, pp.1381-1389, 2007.
13. Bhattacharya A., Chattopadhyay P, K., "Solving complex economic load dispatch problems using biogeography based optimization", Expert Systems with Applications, Vol.37, pp.3605-3615, 2010.
14. Pothiya S., Ngamroo I., Kongprawechnon W., "Application of multiple tabu search algorithm to solve dynamic economic dispatch considering generator constraints", Energy Conversion and Management, Vol.49, pp.506-516, 2008.
15. Chen C, L., "Non-convex economic dispatch: A direct search approach", Energy Conversion and Management, Vol.48, pp.219-225, 2007.



16. Wood A. J., Wollenberg B. F., "Power Generation Operation and Control", New York-Wiley, 1996.
17. Yuan X., Wang L., Zhang Y., Yuan Y., "A hybrid differential evolution method for dynamic economic dispatch with valve-point effects", Expert systems with applications, Vol.36, No.2, Part. 2, pp.4042-4048, 2009.
18. Yuan X., Wang L., Yuan Y., Zhang Y., Cao B., Yang B., "A modified differential evolution approach for dynamic economic dispatch with valve-point effects", Energy Conversion and Management, Vol.49, No.12, s.3447-3453, 2008.
19. Noman N., Iba H., "Differential evolution for economic load dispatch problems", Electric Power Systems Research Vol.78 No.8, s.1322-1331, 2008.
20. Yaşar C., Temurtaş H., Özyön S., "Diferansiyel gelişim algoritmasının termik birimlerden oluşan çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması", ELECO'2010, 6. Ulusal Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 26-2-5 Aralık 2010, BURSA, TÜRKİYE.
21. Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H., "Differential evolution algorithm approach to nonconvex economic power dispatch problems with valve point effect", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS 2011), Electrical & Electronics Technologies Papers, Vol.4, pp.181-186, 16-18 May 2011, Elazığ, TURKEY.
22. Keskinürk T., "Diferansiyel gelişim algoritması", YA/EM 2006 - XXVI. Ulusal Kongresi, 3-5 Temmuz 2006, KOCAELİ, s.214-217.
23. Keskinürk T., "Diferansiyel gelişim algoritması", İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Yıl:5 Sayı:9, s.85-99, 2006.
24. Karaboğa D., "Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları", Atlas Yayın Dağıtım, Mayıs 2004, İSTANBUL.